

# РЕФЕРАТ

Зеркальный мир с  $m_p = m_n$

Серафима Нечаева

# Содержание

1	Введение	1
2	Нуклеосинтез	1
2.1	Закалка нейтронов. Нейтрон-протонное соотношение . . . . .	1
2.2	Начало нуклеосинтеза. Направление термоядерных реакций . . . . .	2

## 1 Введение

Одной из моделей, описывающих природу тёмной материи, является Зеркальный Мир. В этой модели каждой частице Стандартной модели приписывается зеркальный партнер. В данном докладе рассматривается зеркальный мир с равными массами зеркальных протонов и зеркальных нейтронов.

В рамках данной модели зеркального мира, в отличие от модели обычного мира, нейтрон является стабильной частицей.

Предполагается, что все процессы эволюции Вселенной до нуклеосинтеза происходят аналогично процессам в обычном мире.

## 2 Нуклеосинтез

### 2.1 Закалка нейтронов. Нейтрон-протонное соотношение

Закалка нейтронов:



Закалка нейтронов происходит, когда удовлетворяется условие  $T \geq \Delta m, m_e$ , то есть  $T \geq 0.5$  МэВ.

Концентрация частиц  $A$  в химическом равновесии при температуре  $T \ll m_A$  описывается формулой [1]:

$$n_A = g_A \left( \frac{m_A T}{2\pi} \right)^{3/2} e^{\frac{\mu_A - m_A}{T}} \quad (2)$$

Запишем далее отношение концентраций зеркальных нейтронов и зеркальных протонов;  $g_n = g_p = 2$ , поскольку зеркальные протоны и нейтроны имеют по 2 спиновых состояния,  $\mu_p = \mu_n$  [1]. В рассматриваемой модели зеркального мира  $\Delta m \equiv$

$m_n - m_p = 0$ , следовательно:

$$\frac{n_n}{n_p} = e^{-\frac{m_n - m_p}{T_n}} = e^{-\frac{\Delta m}{T_n}} = 1 \quad (3)$$

То есть концентрации зеркальных протонов и зеркальных нейтронов равны ( $n_n = n_p$ ). Так как зеркальные протоны и нейтроны в свободном состоянии стабильны, то данное соотношение в дальнейшем меняться не будет.

## 2.2 Начало нуклеосинтеза. Направление термоядерных реакций

Образование зеркального вещества будет происходить при помощи реакций, аналогичным образованию обычного вещества, и будет начинаться с образования зеркального дейтерия [1]:



Далее следуют реакции:

- $D(p, \gamma)^3\text{He}$ ,  $D(D, n)^3\text{He}$ ,  $D(D, p)\text{T}$  – реакции, подготавливающие образование  $^4\text{He}$
- $\text{T}(D, n)^4\text{He}$ ,  $^3\text{He}(D, p)^4\text{He}$  – образование  $^4\text{He}$

Чтобы оценить параметры нуклеосинтеза, можно воспользоваться уравнением Саха [1]:

$$X_A = X_p^Z X_n^{A-Z} n_B^{A-1} 2^{-A} g_A A^{\frac{5}{2}} \left( \frac{2\pi}{m_p T} \right)^{\frac{3}{2}(A-1)} e^{-\frac{\Delta_A}{T}}, \quad (5)$$

где  $n_B$  – плотность числа барионов;  $X_A = \frac{An_A}{n_B}$  – отношение числа нуклонов, находящихся в ядрах ( $A, Z$ ) к общему числу барионов;  $g_A$  – число спиновых состояний ядра;  $\Delta_A$  – энергия связи ядра.

В случае  $m_p = m_n$  энергия связи ядра определяется выражением:

$$\Delta_A = Zm_p + (A - Z)m_n - m_A = Am_p - m_A \quad (6)$$

Плотность числа барионов можно получить следующим образом:

$$n_B = \eta_B n_\gamma = \eta_B \frac{2\xi(3)}{\pi^2} T^3 = 0.24\eta_B T^3, \quad (7)$$

где  $\eta_B$  – барион-фотонное соотношение.

С учетом (7) уравнение Саха (5) преобразуется к виду:

$$X_A = X_p^Z X_n^{A-Z} \eta_B^{A-1} 2^{-A} g_A A^{\frac{5}{2}} \left( \frac{2.5T}{m_p} \right)^{\frac{3}{2}(A-1)} e^{-\frac{\Delta_A}{T}} \quad (8)$$

Равновесная концентрация  $X_A$  становится существенной, только если выполняется условие  $T \ll \Delta_A$ .

С учетом (6) энергия связи дейтрона должна равняться  $\Delta_D = 0.93$  МэВ.

## Список литературы

1. Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введение в теорию ранней Вселенной. — 2009.